

2/5/1

DIALOG(R)File 351:Derwent

(c) 2000 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

008468374 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 1990-355374/199048

XRPX Acc No: N90-271396

**Dry microscope objective lens - has units slid to vary intervening gap and thus UV wavelength selected**

Patent Assignee: CARL Z (CARL-I); ZEISS STIFTUNG CARL (ZEISS ); ZEISS FA CARL (ZEISS ); ZEISS-STIFTUNG C (ZEISS )

Inventor: MUCHEL F; ULRICH W

Number of Countries: 004 Number of Patents: 006

Patent Family:

| Patent No  | Kind | Date     | Applicat No | Kind | Date     | Week     |
|------------|------|----------|-------------|------|----------|----------|
| DE 3915868 | A    | 19901122 | DE 3915868  | A    | 19890516 | 199048 B |
| US 5103341 | A    | 19920407 | US 90524085 | A    | 19900515 | 199217   |
| CH 681662  | A5   | 19930430 | CH 901518   | A    | 19900507 | 199322   |
| AT 9001078 | A    | 19950515 | AT 901078   | A    | 19900515 | 199525   |
| AT 400492  | B    | 19951115 | AT 901078   | A    | 19900515 | 199550   |
| DE 3915868 | C2   | 19960912 | DE 3915868  | A    | 19890516 | 199641   |

Priority Applications (No Type Date): DE 3915868 A 19890516

Patent Details:

| Patent No  | Kind | Lan | Pg | Main IPC    | Filing Notes                     |
|------------|------|-----|----|-------------|----------------------------------|
| US 5103341 | A    |     | 20 |             |                                  |
| AT 400492  | B    |     |    | G02B-021/02 | Previous Publ. patent AT 9001078 |
| DE 3915868 | C2   |     | 18 | G02B-021/02 |                                  |
| CH 681662  | A5   |     |    | G02B-021/02 |                                  |
| AT 9001078 | A    |     |    | G02B-021/02 |                                  |

Abstract (Basic): DE 3915868 A

The dry lens for a microscope is suitable for ultra-violet rays, having an aperture larger than 0.7 with magnification of at least 60 times. It is corrected as regards the opening error for the visible spectral area and at the same time for a selected uv wavelength.

It comprises two or more units (a,b) sliding in relation to each other. The selected wavelength depends on the air gap (d7;d4;d5;d3;d5;d2;d4;d2) between the units, and which is varied by the sliding movement.

USE/ADVANTAGE - A measuring ray from the lens can be focussed with the min. amount of deflection.

Dwg.1,2/15

Title Terms: DRY; MICROSCOPE; OBJECTIVE; LENS; UNIT; SLIDE; VARY; INTERVENING; GAP; ULTRAVIOLET; WAVELENGTH; SELECT

Derwent Class: P81

International Patent Class (Main): G02B-021/02

International Patent Class (Additional): G02B-013/14; G02B-015/14

File Segment: EngPI

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 39 15 868 C 2

⑤① Int. Cl.<sup>8</sup>:  
G 02 B 21/02  
G 02 B 13/14

②① Aktenzeichen: P 39 15 868.3-51  
②② Anmeldetag: 16. 5. 89  
④③ Offenlegungstag: 22. 11. 90  
④⑥ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 12. 9. 96

DE 39 15 868 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
Fa. Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE

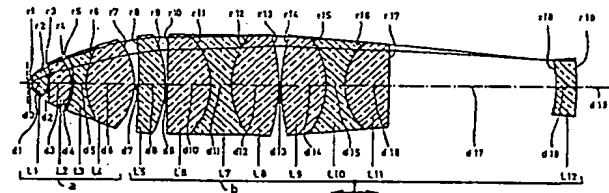
⑦② Erfinder:  
Ulrich, Wilhelm, Dipl.-Ing., 59227 Aalen, DE; Muchel,  
Franz, Dipl.-Phys., 89551 Königsbrunn, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

|       |              |
|-------|--------------|
| DE    | 29 54 055 C2 |
| DE-OS | 26 02 730    |
| US    | 46 66 256    |
| US    | 42 80 757    |

⑤④ UV-taugliches Trockenobjektiv für Mikroskope

⑤⑦ UV-taugliches Trockenobjektiv für Mikroskope mit einer Apertur größer als 0,7 und einem Abbildungsmaßstab von mindestens 60 $\times$ , welches bezüglich des Öffnungsfehlers im sichtbaren Spektralbereich und für eine ausgewählte UV-Wellenlänge korrigiert ist, wobei das Objektiv zwei gegeneinander verschiebbare Glieder (a, b) mit variierbarem Luftabstand aufweist und die durch die Verschiebung des hinteren Gliedes (b) bewirkte Änderung des Öffnungsfehlers und der Beitrag des vorderen Gliedes (a) zum Öffnungsfehler, der sich beim anschließenden Nachfokussieren ergibt, das gleiche Vorzeichen besitzen, und Änderungen dieses Luftabstandes (d7, d4; d5, d3; d5, d2; d4, d2) die Wellenlängen, für die der Öffnungsfehler optimal korrigiert ist, im UV-Bereich und im sichtbaren Spektralbereich gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung verschieben.



DE 39 15 868 C 2

## Beschreibung

Die bisher beispielsweise unter dem Namen "Ultrafluor" bekannten UV-tauglichen Objektive lassen sich in zwei Klassen einteilen:

- Trockenobjektive mit relativ kleinem Abbildungsmaßstab und niedriger Apertur wie zum Beispiel das Objektiv unter der Bezeichnung "Ultrafluor 10/0,25" der Anmelderin.
- Immersionsobjektive mit relativ großem Abbildungsmaß und hoher Apertur wie zum Beispiel das "Ultrafluor 100/0,85" der Anmelderin.

Es sind jedoch keine hochaperturigen Trockenobjektive bekannt, die gleichzeitig UV-tauglich sind und einen relativ hohen Arbeitsabstand besitzen. Der Grund hierfür ist darin zu sehen, daß je größer der Arbeitsabstand eines solchen Objektives gefordert ist, umso schwieriger es ist, die Korrektur vor allem von Öffnungsfehler und Gaußfehler sicherzustellen. Denn ein UV-durchlässiges Objektiv erfordert eine Korrektur über einen sehr großen Spektralbereich und andererseits stehen für diese Aufgabe nur sehr wenige UV-durchlässige Gläser zur Verfügung.

Nun werden aber beispielsweise für Strukturbreitenmessungen an unbedeckten Objekten wie z. B. den Wafern in der Halbleiterindustrie zunehmend Objektive gefordert, mit denen sich die zu beobachtenden Strukturen in einer Größenordnung von unter 1  $\mu$ m ausreichend gut auflösen lassen. Die Objektive sollen im sichtbaren Spektralbereich bis zu einem Bildfeld von 25 mm Durchmesser korrigiert sein, damit das Objekt visuell beobachtet und auf die Oberfläche fokussiert werden kann. Für die eigentliche Objektvermessung ist dann ein automatischer konfokaler Strahlscan bei einer diskreten Wellenlänge im UV-Bereich vorgesehen, um das Auflösungsvermögen zu erhöhen.

Objektive für diesen Zweck sollen einen Abbildungsmaßstab von  $\beta = -60$  bis  $\beta = -100$  besitzen und eine Apertur von mindestens 0,7. Außerdem wird gefordert, daß sie ein geebnetes Bildfeld besitzen und möglichst verzeichnungsfrei sind.

Wie eingangs erwähnt sind die bisher bekannten Objektive für diesen Zweck nicht geeignet.

In der DE-OS 36 33 088 ist ein UV-taugliches Mikroskopobjektiv aus neun Linsen beschrieben, das jedoch nur bis zu einer Wellenlänge von 450 nm brauchbar ist.

Das in der SU-PS 58 42 74 genannte, angeblich UV-taugliche Mikroskopobjektiv aus elf Linsen ist bezüglich seiner Konstruktionsparameter und des Korrekturzustandes nicht spezifiziert.

In der US-PS 42 00 352 und in der EP-A2-269 926 sind UV-taugliche Objektive beschrieben, die jedoch eine geringe Apertur und einen niedrigen Abbildungsmaßstab besitzen. Hier stellt die Korrektur des Öffnungsfehlers über den Spektralbereich kein Problem dar.

In der EP-A2-284 414 ist ein UV-Objektiv für Waferstepper beschrieben. Dies Objektiv ist jedoch nur für den UV-Bereich korrigiert.

In der US-PS 42 80 757 ist ein Objektiv für die Fluoreszenzmikroskopie beschrieben, das eine numerische Apertur von 0,65 und bei einer Wellenlänge von 365 nm eine Transmission von mindestens 60% aufweist. Angaben bezüglich des Korrekturzustandes im UV-Bereich werden nicht gemacht.

Weiterhin sind hochaperturige Trockenobjektive für Mikroskope bekannt, für die sich die sphärische Aberration durch Verschieben von Linsengliedern auf Deckgläser mit unterschiedlichen Dicken einstellen läßt. Solche Objektive sind beispielsweise in der DE-OS 26 02 730 und in der US-PS 46 66 256 beschrieben. Diese Objektive sind jedoch für den beschriebenen Anwendungsfall nicht geeignet, da sie einmal nicht für den UV-Bereich korrigiert sind und zum anderen dort der Öffnungsfehler nicht gezielt für eine bestimmte Wellenlänge optimiert werden kann.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein hochaperturiges, UV-taugliches Objektiv für Mikroskope zu schaffen, das sowohl im sichtbaren Spektralbereich ausreichend gut korrigiert ist, das jedoch darüber hinaus auch für mehrere Wellenlängen im UV-Spektralbereich hinsichtlich des Öffnungsfehlers so gut korrigiert ist, daß sich ein Meßstrahl vom Objektiv beugungsbegrenzt fokussieren läßt.

Diese Aufgabe wird durch ein Objektiv mit den im Anspruch 1 angegebenen Merkmalen gelöst.

Die Erfindung geht von der Überlegung aus, daß es nicht unbedingt notwendig ist, das Objektiv hinsichtlich des Öffnungsfehlers so zu korrigieren, daß sich ein beugungsbegrenzter Fokusedurchmesser über den gesamten nutzbaren Spektralbereich ergibt. Es ist vielmehr ausreichend, bei gleichzeitig guter Korrektur des sichtbaren Spektralbereichs das Objektiv für eine einzelne ausgewählte UV-Wellenlänge optimal zu korrigieren, wenn sich diese Wellenlänge, bei der das Objektiv optimal korrigiert ist, verändern läßt. Denn auch auf diese Art und Weise läßt sich das Objektiv an die unterschiedlichen, in der Halbleiterindustrie verwendeten mehr oder weniger monochromatischen UV-Strahlquellen anpassen.

Es hat sich nun gezeigt, daß sich der Öffnungsfehler tatsächlich bei gleichzeitig bleibender guter Korrektur im sichtbaren Spektralbereich für verschiedene UV-Wellenlängen optimieren läßt, wenn der Luftabstand zwischen zwei gegeneinander verschiebbaren Teilen des Objektivs an einer geeignet ausgewählten Stelle geändert wird.

Auf diese Weise läßt sich die Korrektur des Objektivs im gesamten UV-Spektralbereich an die verwendete, zu fokussierende Strahlquelle anpassen.

Hierbei ist der Öffnungsfehler des Objektivs so korrigiert, daß Änderungen des Öffnungsfehlers in Abhängigkeit von der Wellenlänge, d. h. der Gaußfehler, jeweils in Richtung auf den längerwelligen sichtbaren Spektralbereich und in Richtung auf den kürzerwelligen UV-Bereich in beiden Fällen das gleiche Vorzeichen besitzen.

In den einleitend genannten bekannten Trockenobjektiven mit Deckglaskorrektur erfolgt der Eingriff auf den Öffnungsfehler in der Weise, daß ein Luftabstand im Objektiv variiert wird, der Glieder mit vergleichbar großen

Brechkräften trennt. Denn bisher wurde vereinfacht angenommen, daß die Flächenbelastungen der feststehenden Linsengruppe konstant bleiben und nur die gegenüber der feststehenden Gruppe verschobene, z. B. hintere Linsengruppe den Öffnungsfehler verändert. Dies gilt jedoch nur, wenn sich der Arbeitsabstand des Gesamto-  
 5  
 bjektives beim Nachfokussieren nach der Korrekturverstellung eines Linsengliedes nicht ändert. Eine Abstands-  
 variation in der Frontgruppe eines Objektives, wo der Öffnungsstrahl im allgemeinen noch stark divergent  
 verläuft, verändert jedoch den Arbeitsabstand des gesamten Objektives schon merklich. Dadurch ändern sich  
 auch die Inzidenzwinkel im vorderen feststehenden Objektivteil, das somit einen weiteren Beitrag zur gesamten  
 Bildfehleränderung leistet.

Der veränderliche Luftabstand ist deshalb so ausgewählt, daß die durch eine Verschiebung des hinteren Teils  
 (b) des Objektivs bewirkte Änderung des Öffnungsfehlers und der Beitrag, den das vordere Teil (a) des Objektivs  
 10  
 zum den Öffnungsfehler beim anschließenden Nachfokussieren liefert, das gleiche Vorzeichen besitzen und sich  
 somit nicht kompensieren sondern verstärken. Denn dann läßt sich der gewünschte Eingriff auf den Öffnungs-  
 fehler mit relativ kleinen Luftabstandsänderungen im Objektiv bewerkstelligen und die Grundkorrektur des  
 Objektivs, d. h. die übrigen Bildfehler ändern sich nur sehr wenig. Außerdem wird mit dieser Maßnahme der  
 ohnehin schon meist knappe Arbeitsabstand des Objektivs durch die Korrekturbewegung nicht nochmals  
 15  
 verringert.

Mit den erfindungsgemäßen Maßnahmen ist es möglich, ein gut korrigiertes, UV-taugliches Trockenobjektiv  
 mit einer Apertur von mindestens 0,7 und einem Abbildungsmaßstab von größer als  $60\times$  aus elf bis dreizehn  
 Linsen aufzubauen. Diese Linsen bestehen zweckmäßig aus den Glasarten Suprasil und Flußspat, so daß das  
 Objektiv im Spektralbereich zwischen dem langwelligen sichtbaren Spektralbereich von ca. 650 nm bis in den  
 20  
 UV-Bereich bei etwa 240 nm gut verwendbar ist.

Nachfolgend werden vier Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Fig. 1—14 der beigefügten Zeich-  
 nungen näher erläutert.

Fig. 1—4 stellen Linsenschnitte der vier Ausführungsbeispiele für das Objektiv dar;  
 in den Fig. 5—8 sind die Korrektionskurven der Objektive aus Fig. 1—4 dargestellt;  
 25  
 die Fig. 9—12 sind Diagramme, in denen die für eine optimale Korrektur des Öffnungsfehlers bei verschiedenen  
 Wellenlängen notwendigen Luftabstandsänderungen  $\Delta d$  für verschiedene Luftabstände  $d_i$  der Objektive aufgetra-  
 gen sind;

Fig. 13 stellt jeweils für verschiedene Wellenlängen das Punktbild des Objektivs aus Fig. 1 bei festem Luftab-  
 stand  $d_7$  dar;

Fig. 14 stellt das Punktbild des Objektivs aus Fig. 1 für die verschiedenen Wellenlängen dar, wobei der  
 Luftabstand  $d_7$  jeweils im Hinblick auf minimalen Öffnungsfehler eingestellt ist;

Fig. 15 ist der Linsenquerschnitt des mit den Objektiven nach Fig. 1—4 verwendeten Tubuslinsensystems.

Alle in Fig. 1—4 dargestellten Objektive haben gemeinsam, daß mit mehreren Linsen in der Frontgruppe  
 zunächst die Öffnungsstrahlen annähernd kollimiert werden und dann die verbleibenden Bildfehler vor allem  
 35  
 durch verschiedene Kombinationen von Kittgliedern mit geringerer Brechkraft korrigiert werden. Eine Feldlin-  
 se im hinteren Objektivteil korrigiert die Pezvalzsumme und andere feldabhängigen Bildfehler. Sie unterschei-  
 den sich jedoch bezüglich des Arbeitsabstandes, in der Linsenzahl und im Aufbau der Kittglieder.

Das Ausführungsbeispiel in Fig. 1 besitzt eine konkav-konvexe Frontlinse (L1), auf die eine ebenfalls konkav-  
 konvexe Einzellinse (L2) folgt. Hieran an schließt sich ein Kittglied bestehend aus einer bikonkaven Linse (L3)  
 40  
 und einer bikonvexen Linse (L4). Diese vier Linsen bilden das erste, feststehende Teil (a) des Objektivs.

Hieran schließt sich durch den Luftspalt  $d_7$  getrennt, das zweite gegenüber dem Teil (a) verschiebbliche Teil (b)  
 des Objektivs an. Dieses besitzt folgenden Aufbau: auf eine konkav-konvexe Einzellinse (L5) folgt ein Kittglied  
 aus drei Linsen, nämlich zwei bikonvexen Sammellinsen (L6 und L8), zwischen denen eine bikonkave Zerstreu-  
 45  
 ungslinse (L7) eingeschlossen ist.

Auf das erste Kittglied folgt ein zweites ebenfalls aus drei Linsen bestehendes Kittglied. Dieses besteht  
 wiederum aus zwei bikonvexen Linsen (L9 und L11), die eine bikonkave Linse (L10) einschließen. Hierzu ist mit  
 relativ großem Luftabstand  $d_{17}$  eine konkav-konvexe Einzellinse (L12) angeordnet. Diese Feldlinse korrigiert im  
 wesentlichen die Pezvalzsumme und andere feldabhängige Bildfehler.

Das Objektiv nach Fig. 1 besitzt die in Tabelle I angegebenen Daten. Die zugehörigen Korrektionskurven für  
 die sphärische Aberration, Verzeichnung und Astigmatismus sind in Fig. 5 dargestellt. Hier bleibt anzumerken,  
 daß die sphärische Aberration und der Astigmatismus in Realeinheiten angegeben sind, während die Ver-  
 zeichnung in Prozent angegeben ist. Das Objektiv ist auf Schnittweite unendlich korrigiert und erzeugt sein  
 Zwischenbild ZB in Verbindung mit einer UV-Tubuslinse mit einer Brennweite  $f = 164,6$  mm. Diese Tubuslinse  
 ist in Fig. 15 dargestellt. Sie besteht aus einer Sammellinse (101) und einer Zerstreuungslinse (102). Mit (103) ist  
 55  
 das vom Abbildungsstrahlengang durchsetzte Prisma im Binokulartubus des Mikroskops bezeichnet. Die Kon-  
 struktionsparameter des Tubuslinsensystems sind in Tabelle V aufgelistet.

Tabelle V

| 5  | Nr.            | Radius<br>r/mm | Dicke/Abstand<br>d/mm | Glas |
|----|----------------|----------------|-----------------------|------|
| 10 | 121            | 107.4600       | 5.700                 | SPL  |
|    | 122            | -42.1700       | 1.130                 | 1.0  |
| 15 | 123            | -40.3880       | 3.800                 | FL   |
|    | 124            | -281.8400      | 9.001                 | 1.0  |
|    | 125            | PLAN           | 42.040                | SPL  |
| 20 | 126            | PLAN           | 119.300               | 1.0  |
|    | SPL - Suprasil |                | FL = Flußspat         |      |
|    |                |                | 1.0 = Luftabstand     |      |

In Fig. 9 sind die Abstandsänderungen  $\Delta d$  in mm über der Wellenlänge WL aufgetragen, die erforderlich sind, um den Öffnungsfehler durch eine Variation der Luftabstände d2, d7, d9 oder d4 für die betreffende Wellenlänge zu minimieren. Man erkennt deutlich, daß der Abstand d2 für diesen Zweck ungünstig ist, da an dieser Stelle zu große Variationen des Abstandes für den erstrebten Zweck erforderlich wären. Der Abstand d9 ist ebenfalls ungünstig, da die entsprechende Kurve einen Wendepunkt besitzt und die für eine Optimierung im UV-Bereich nötige Abstandsänderung vom Vorzeichen her entgegengesetzt zu der für den sichtbaren Bereich erforderlichen verläuft. Hingegen sind die Abstände d4 und d7 gut geeignet, da zum einen sehr viel geringere Abstandsänderungen zur Anpassung an die verschiedenen Wellenlängen ausreichend sind und zum anderen die Kurven im gesamten Spektralbereich keinen Wendepunkt besitzen, so daß bei Optimierung des Öffnungsfehlers im UV-Bereich zwischen 240 und etwa 280 nm der Öffnungsfehler auch im sichtbaren Spektralbereich gut korrigiert bleibt. Im konkreten Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 werden die beiden relativ zueinander verschiebbaren Linsenglieder (a) und (b) durch den Luftabstand d7 getrennt.

Das Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 unterscheidet sich von dem nach Fig. 1 dadurch, daß die Frontlinse als Kittglied aus den beiden Linsen (L1 und L2) besteht. Hierdurch lassen sie die aperturabhängigen Fehler gleich in der Frontgruppe deutlich minimieren, so daß die Grundkorrektur dieses Objektivs wie aus den Kurven nach Fig. 6 hervorgeht von vornherein besser ist. Die Linsendaten sind in Tabelle II aufgeführt.

Zur Optimierung des Öffnungsfehlers für verschiedene UV-Wellenlängen eignen sich die Luftabstände d3 und d5. Dies geht aus der graphischen Darstellung nach Fig. 10 deutlich hervor. Auch der Luftabstand d8 ist für diesen Zweck noch geeignet. Denn in den drei dargestellten Fällen sind nur relativ geringe Variationen der Luftabstände nötig, wobei zur Optimierung des Öffnungsfehlers sowohl zum kürzerwelligen UV als auch zum längerwelligen sichtbaren Spektralbereich hin die Abstandsänderungen in die gleiche Richtung verläuft.

Das Objektiv im Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 besitzt in der Frontlinsengruppe eine Linse weniger. Dort schließt sich direkt an die Frontlinse (L1) das aus den beiden Linsen (L2) und (L3) bestehende konkav-konvexe Kittglied an. Hierdurch ist die Korrektur von Öffnungsfehler und Gaußfehler stark erschwert und auch die Koma ist nicht mehr so gut zu korrigieren. Bezüglich des Öffnungsfehlers ist dies in den Korrekturkurven nach Fig. 7 zu erkennen. Weiterhin besitzt das aus den drei Linsen (L8, L9 und L10) bestehende, zweite Kittglied vom Vorzeichen her andere Radien als das entsprechende, aus den Linsen (L9, L10 und L11) gebildete Kittglied im Ausführungsbeispiel nach Fig. 1. Während dort nämlich eine zerstreulose Linse von zwei Sammellinsen eingeschlossen ist, ist im Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 eine Sammellinse, nämlich die Linse (L9), von zwei Zerstreuungslinsen (L8 und L10) eingeschlossen. Die Konstruktionsparameter dieses Ausführungsbeispiels sind in Tabelle III aufgeführt.

Zur Optimierung des Öffnungsfehlers auf verschiedene Wellenlängen im UV-Bereich sind für dieses Ausführungsbeispiel die Luftabstände d2 und d5 geeignet. Dies ergibt sich aus der graphischen Darstellung nach Fig. 11, wo die zur Minimierung des Öffnungsfehlers auf die betreffende Wellenlänge nötige Abstandsänderung  $\Delta d$  für die Luftabstände d2 und d5 über der Wellenlänge aufgetragen ist. Aus fertigungstechnischen Gründen wird man bei diesem Objektiv den Luftabstand d5 variieren. Die anderen Luftabstände d7 und d11 sind für den beschriebenen Zweck nicht geeignet, da der Öffnungsfehler auf eine Abstandsänderung an dieser Stelle viel zu unempfindlich reagiert.

Das Ausführungsbeispiel in der Darstellung nach Fig. 4 entspricht im wesentlichen dem nach Fig. 1 mit dem Unterschied, daß im zweiten Kittglied, das aus drei Linsen (L9, L10 und L11) besteht, auch wieder zwei Radien bezüglich ihres Vorzeichens vertauscht sind, so daß anstelle der Zerstreuungslinse (L10) in Fig. 1 hier eine Sammellinse von zwei Zerstreuungslinsen eingeschlossen ist. Außerdem ist hier für die Feldlinse ein Kittglied gewählt. Durch diese Maßnahmen ist, allerdings auf Kosten des Arbeitsabstandes, die Korrektur etwas besser als im Ausführungsbeispiel nach Fig. 1. Die entsprechenden Korrekturkurven für das Ausführungsbeispiel

nach Fig. 4 sind in Fig. 8 dargestellt und die Konstruktionsparameter in Tabelle IV aufgelistet.

Wie aus der Darstellung nach Fig. 12 hervorgeht, eignen sich bei diesem Objektiv die Luftabstände  $d_4$  und  $d_2$  zur Optimierung des Öffnungsfehlers im UV-Bereich. Die Abstände  $d_7$  und  $d_9$  sind weniger geeignet, da hier entweder zu große Änderungen gefordert werden ( $d_7$ ) bzw. die erforderliche Abstandsvariation im UV-Bereich in eine andere Richtung läuft als im sichtbaren Spektralbereich ( $d_9$ ).

Die Arbeitsabstände der Objektive nach Fig. 1 bis Fig. 4 sind in den zugehörigen Tabellen I bis IV zu Anspruch 4 in denen alle Konstruktionsparameter aufgelistet sind, mit angegeben. Die dort ebenfalls angegebenen Bereiche für die Aperturen von 0,8 bis 0,88 ergeben sich aus dem großen Spektralbereich, für den diese Objektive korrigiert sind. Sie sind so zu verstehen, daß die Apertur von 0,8 jeweils für den sichtbaren Spektralbereich und die höhere Apertur von zwischen 0,86 und 0,88 für den UV-Bereich gilt. Für die Linsen sind im übrigen ausnahmslos die beiden Glasarten Suprasil und Flußspat verwendet, die folgende Brechungsindices  $n_d$  und Dispersionen  $vd$  besitzen:

Suprasil  $n_d = 1.4585$ ;  $vd = 67,3$ ,  
Flußspat  $n_d = 1.4339$ ;  $vd = 95,2$ .

In einem Vergleich zwischen den Fig. 13 und 14 läßt sich sehr gut erkennen, welche Vorteile durch die von der Erfindung vorgeschlagenen Maßnahmen erzielt werden können. Dargestellt ist in beiden Fällen die räumliche Intensitätsverteilung des Punktbildes des Objektivs im Ausführungsbeispiel nach Fig. 1. Der mittlere Durchmesser des Punktbildes ist ein gutes Maß dafür, ob bzw. wie gut sich ein kollimierter Lichtstrahl vom Objektiv beugungsbegrenzt fokussieren läßt. Hält man den Luftabstand  $d_7$  des Objektivs nach Fig. 1 konstant bei  $d_7 = 9,18$  mm, so ergibt sich zwar für die Wellenlänge  $WL = 302$  nm ein scharfer, beugungsbegrenzter Fokus. Für die übrigen Wellenlängen und insbesondere die UV-Wellenlängen  $WL = 237,8$  nm und  $WL = 248,2$  nm ist der Fokusspot jedoch stark verbreitert aufgrund des dort nicht optimal korrigierten Öffnungsfehlers. Dies läßt sich in Fig. 13 klar erkennen.

Wird hingegen der Luftabstand  $d_7$  entsprechend dem in Fig. 9 aufgetragenen Zusammenhang auf die gewünschten Wellenlängen z. B.  $WL = 237,8$  nm oder  $WL = 248,2$  nm eingestellt, so ergeben sich auch für diese Wellenlängen beugungsbegrenzte Fokii, die eine hochauflösende Vermessung von z. B. Waferstrukturen erlauben. Für die Objektive ist deshalb eine Korrektionsfassung vorgesehen, mit deren Hilfe in an sich bekannter Weise die beiden Teile a und b des Objektivs zur Abstimmung auf die gewünschte Wellenlänge verschoben werden können. Der Einstellring der Korrektionsfassung ist deshalb zweckmäßig mit einer Wellenlängen-Skala markiert.

Es ist klar, daß eine solche Korrektionsfassung außerdem gekoppelt sein kann mit einer Einrichtung, die eine etwaige Verschiebung der Fokusslage infolge der Korrektionsbewegung durch ein Verschieben des gesamten Objektivs ausgleicht. Solche Korrektionsfassungen sind von ihrem mechanischen Aufbau her an sich bekannt und werden deshalb an dieser Stelle nicht näher beschrieben.

#### Patentansprüche

1. UV-taugliches Trockenobjektiv für Mikroskope mit einer Apertur größer als 0,7 und einem Abbildungsmaßstab von mindestens  $60\times$ , welches bezüglich des Öffnungsfehlers im sichtbaren Spektralbereich und für eine ausgewählte UV-Wellenlänge korrigiert ist, wobei das Objektiv zwei gegeneinander verschiebbare Glieder (a, b) mit variierbarem Luftabstand aufweist und die durch die Verschiebung des hinteren Gliedes (b) bewirkte Änderung des Öffnungsfehlers und der Beitrag des vorderen Gliedes (a) zum Öffnungsfehler, der sich beim anschließenden Nachfokussieren ergibt, das gleiche Vorzeichen besitzen, und Änderungen dieses Luftabstandes ( $d_7, d_4; d_5, d_3; d_5, d_2; d_4, d_2$ ) die Wellenlängen, für die der Öffnungsfehler optimal korrigiert ist, im UV-Bereich und im sichtbaren Spektralbereich gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung verschieben.
2. Objektiv nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Objektiv zwischen 11 und 13 Linsen besitzt, wobei die Linsen aus Suprasil und Flußspat bestehen.
3. Objektiv nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Objektiv in Lichtrichtung gesehen folgenden Aufbau besitzt:
  - eine konkav-konvexe, als Einzellinse ( $L_1$ ) oder Kittglied ( $L_1, L_2$ ) ausgebildete Frontlinse;
  - eine sammelnde, aus einer konkav-konvexen Einzellinse ( $L_2; L_3$ ) und einem konkav-konvexen Kittglied ( $L_3/L_4; L_4/L_5$ ) oder allein einem konkav-konvexen Kittglied ( $L_2/L_3$ ) bestehende Linsengruppe;
  - eine sammelnde Einzellinse ( $L_5; L_6; L_4$ );
  - ein erstes aus drei Linsen ( $L_6—L_8; L_7—L_9; L_5—L_7$ ) bestehendes Kittglied;
  - ein zweites aus drei Linsen ( $L_9—L_{11}; L_{10}—L_{12}; L_8—L_{10}$ ) bestehendes Kittglied;
  - eine in größerem Luftabstand dazu angeordnete zerstreuernde Einzellinse ( $L_{12}; L_{13}; L_{11}$ ) oder ein zerstreuerndes Kittglied ( $L_{12}/L_{13}$ ).
4. Objektiv nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Objektiv die in einer der Tabellen I, II, III oder IV angegebenen Daten besitzt:

Tabelle I

(Fig. 1)

|    | Nr. | Radius<br>r/mm | Dicke/Abstand<br>d/mm | Glas |
|----|-----|----------------|-----------------------|------|
| 5  |     |                |                       |      |
| 10 | 0   |                | .249                  |      |
|    | 1   | -.9716         | .740                  | SPL  |
| 15 | 2   | -.7608         | .100                  | 1.0  |
|    | 3   | -3.4974        | .950                  | FL   |
|    | 4   | -1.6312        | .100                  | 1.0  |
| 20 | 5   | -3.3497        | .600                  | SPL  |
|    | 6   | 4.2170         | 2.300                 | FL   |
|    | 7   | -3.2081        | .180                  | 1.0  |
| 25 | 8   | -27.1880       | 1.300                 | FL   |
|    | 9   | -5.3088        | .100                  | 1.0  |
|    | 10  | PLAN           | 2.100                 | FL   |
| 30 | 11  | -3.3982        | .900                  | SPL  |
|    | 12  | 3.9242         | 2.300                 | FL   |
|    | 13  | -10.5930       | .100                  | 1.0  |
| 35 | 14  | 12.3200        | 2.150                 | FL   |
|    | 15  | -4.0388        | .900                  | SPL  |
| 40 | 16  | 3.1623         | 2.000                 | FL   |
|    | 17  | PLAN           | 7.840                 | 1.0  |
|    | 18  | -4.8697        | 1.000                 | FL   |
| 45 | 19  | -25.3000       | 22.570                | 1.0  |

Arbeitsabstand  $d_0 = 0.249$  mmNumerische Apertur  $NA = 0.80 - 0.87$ Abbildungsmaßstab  $\beta = -100\times$ 

SPL = Suprasil

FL = Flußspat



Tabelle II

(Fig. 2)

| Nr. | Radius<br>r/mm | Dicke/Abstand<br>d/mm | Glas | 5  |
|-----|----------------|-----------------------|------|----|
| 0   |                | .137                  | 1.0  | 10 |
| 1   | -1.0928        | .300                  | SPL  |    |
| 2   | 20.6762        | .790                  | FL   | 15 |
| 3   | -.8459         | .100                  | 1.0  |    |
| 4   | -4.1330        | .800                  | FL   |    |
| 5   | -1.8234        | .100                  | 1.0  | 20 |
| 6   | -4.6725        | .500                  | SPL  |    |
| 7   | 3.4961         | 1.900                 | FL   |    |
| 8   | -3.2424        | .100                  | 1.0  | 25 |
| 9   | -134.2580      | 1.350                 | FL   |    |
| 10  | -5.2459        | .100                  | 1.0  |    |
| 11  | 35.3889        | 2.803                 | FL   | 30 |
| 12  | -5.6431        | .900                  | SPL  |    |
| 13  | 2.9163         | 1.900                 | FL   | 35 |
| 14  | -11.6860       | .100                  | 1.0  |    |
| 15  | 34.6749        | 1.800                 | FL   |    |
| 16  | -2.9203        | .900                  | SPL  | 40 |
| 17  | 2.6543         | 1.700                 | FL   |    |
| 18  | 81.5481        | 8.059                 | 1.0  |    |
| 19  | -6.0541        | 1.000                 | FL   | 45 |
| 20  | -13.3604       | 23.140                | 1.0  |    |

Arbeitsabstand  $d_0 = 0.137$  mm

50

Numerische Apertur NA = 0.80 - 0.88

Abbildungsmaßstab  $\beta = -100x$ 

SPL = Suprasil

55

FL = Flußspat

60

65

Tabelle III

(Fig. 3)

|    | Nr. | Radius<br>r/mm | Dicke/Abstand<br>d/mm | Glas |
|----|-----|----------------|-----------------------|------|
| 5  |     |                |                       |      |
| 10 | 0   |                | .147                  | 1.0  |
|    | 1   | -1.53483       | 1.013                 | SPL  |
| 15 | 2   | -.82861        | .100                  | 1.0  |
|    | 3   | -20.9844       | .500                  | SPL  |
|    | 4   | 2.42272        | 1.950                 | FL   |
| 20 | 5   | -2.44624       | .100                  | 1.0  |
|    | 6   | -74.5372       | 1.350                 | FL   |
|    | 7   | -5.05030       | .100                  | 1.0  |
| 25 | 8   | 19.7665        | 1.800                 | FL   |
|    | 9   | -3.33476       | .700                  | SPL  |
| 30 | 10  | 2.83726        | 1.800                 | FL   |
|    | 11  | -20.5046       | .100                  | 1.0  |
|    | 12  | 93.7628        | .700                  | SPL  |
| 35 | 13  | 2.64222        | 2.600                 | FL   |
|    | 14  | -2.57330       | .700                  | SPL  |
|    | 15  | -11.9566       | 14.77                 | 1.0  |
| 40 | 16  | -29.0833       | 1.000                 | FL   |
|    | 17  | 31.0171        | 19.05                 | 1.0  |

Arbeitsabstand  $d_0 = 0.147$  mm

Numerische Apertur  $NA = 0.80 - 0.86$

Abbildungsmaßstab  $\beta = -100\times$

SPL = Suprasil

FL = Flußspat

Tabelle IV

(Fig. 4)

| Nr | Radius<br>r/mm | Dicke/Abstand<br>d/mm | Glas | 5  |
|----|----------------|-----------------------|------|----|
| 0  |                | .140                  | 1.0  | 10 |
| 1  | -.8233         | .937                  | SPL  |    |
| 2  | -.7741         | .100                  | 1.0  | 15 |
| 3  | -3.4588        | .850                  | FL   |    |
| 4  | -1.7700        | .100                  | 1.0  |    |
| 5  | -3.4445        | .600                  | SPL  | 20 |
| 6  | 4.0231         | 2.050                 | FL   |    |
| 7  | -3.0358        | .100                  | 1.0  |    |
| 8  | -49.0796       | 1.300                 | FL   | 25 |
| 9  | -5.1074        | .100                  | 1.0  |    |
| 10 | 68.5668        | 1.900                 | FL   |    |
| 11 | -3.3799        | .900                  | SPL  | 30 |
| 12 | 4.1450         | 1.800                 | FL   |    |
| 13 | -12.9361       | 2.056                 | 1.0  | 35 |
| 14 | 37.1443        | .900                  | SPL  |    |
| 15 | 2.7743         | 3.800                 | FL   |    |
| 16 | -2.9506        | 1.000                 | SPL  | 40 |
| 17 | PLAN           | 19.820                | 1.0  |    |
| 18 | -9.2679        | .900                  | FL   |    |
| 19 | 13.8695        | 1.200                 | SPL  | 45 |
| 20 | -22.4723       | 7.926                 | 1.0  |    |

Arbeitsabstand  $d_o = 0.140$  mm

50

Numerische Apertur  $NA = 0.80 - 0.87$ Abbildungsmaßstab  $\beta = -100\times$ 

SPL = Suprasil

55

FL = Flußspat

---

 Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen
 

---

60

65

Fig. 1

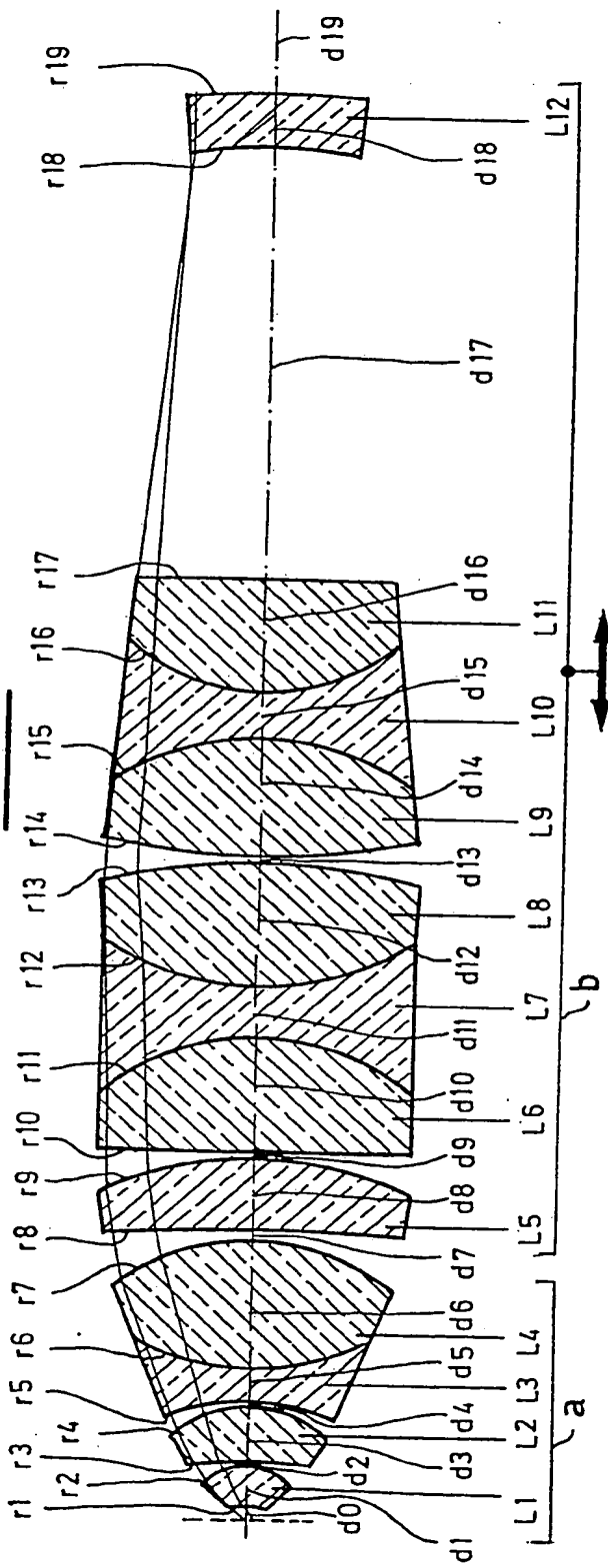


Fig. 2

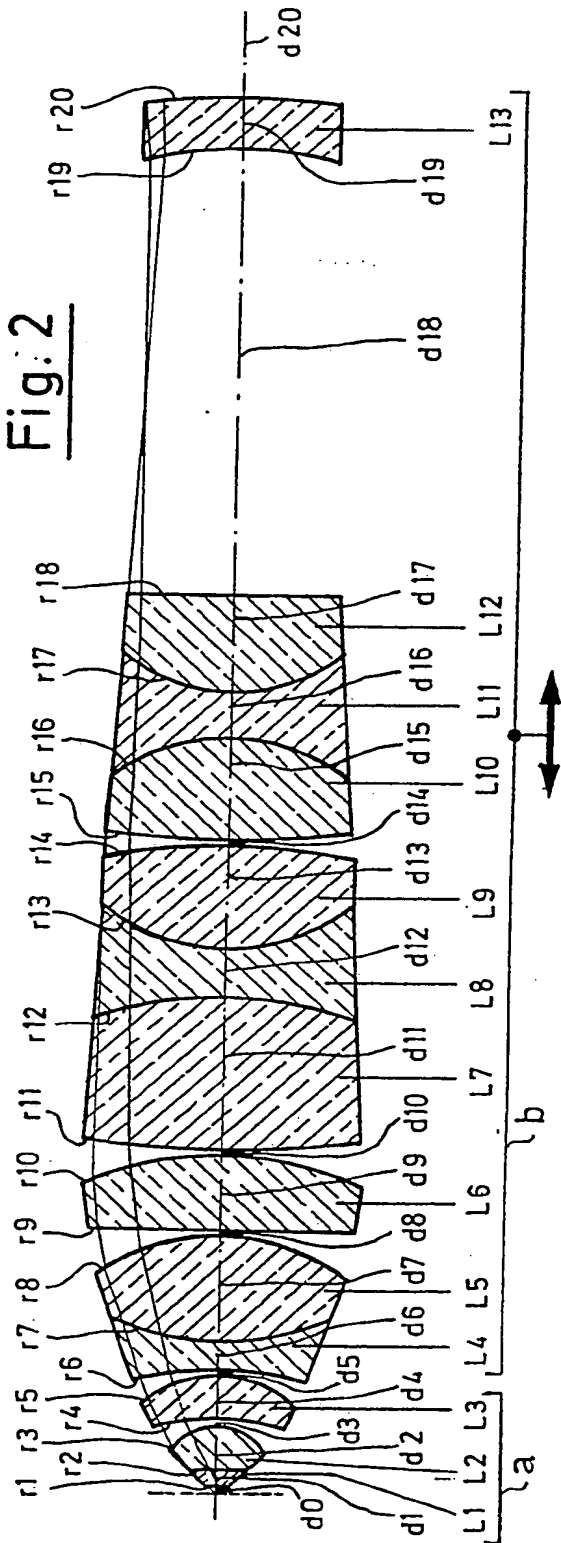


Fig. 3

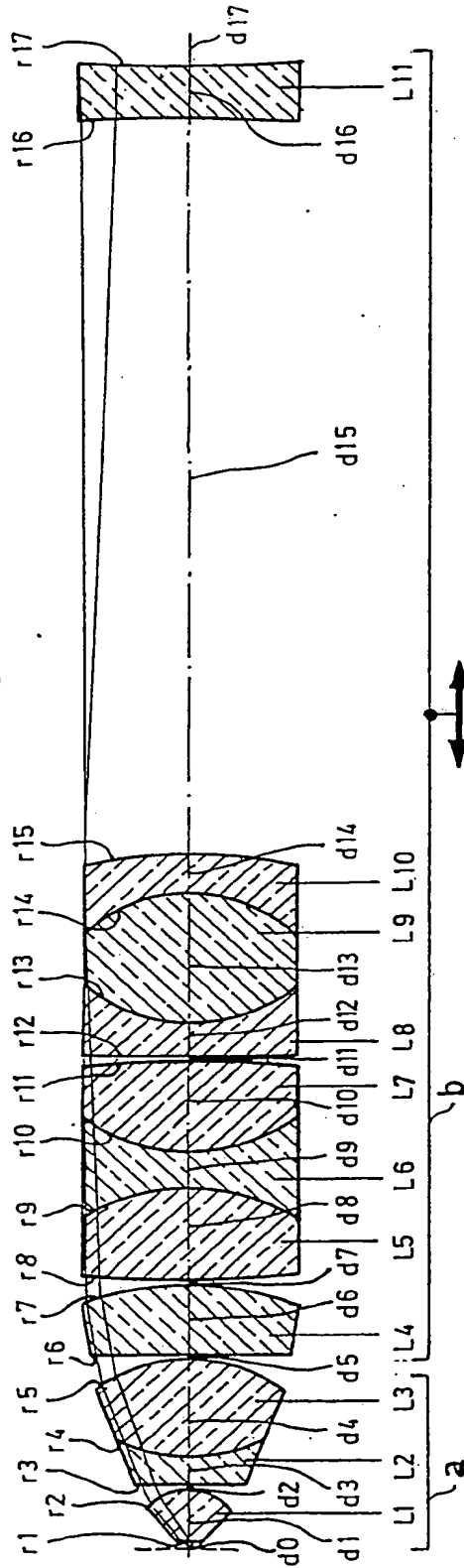
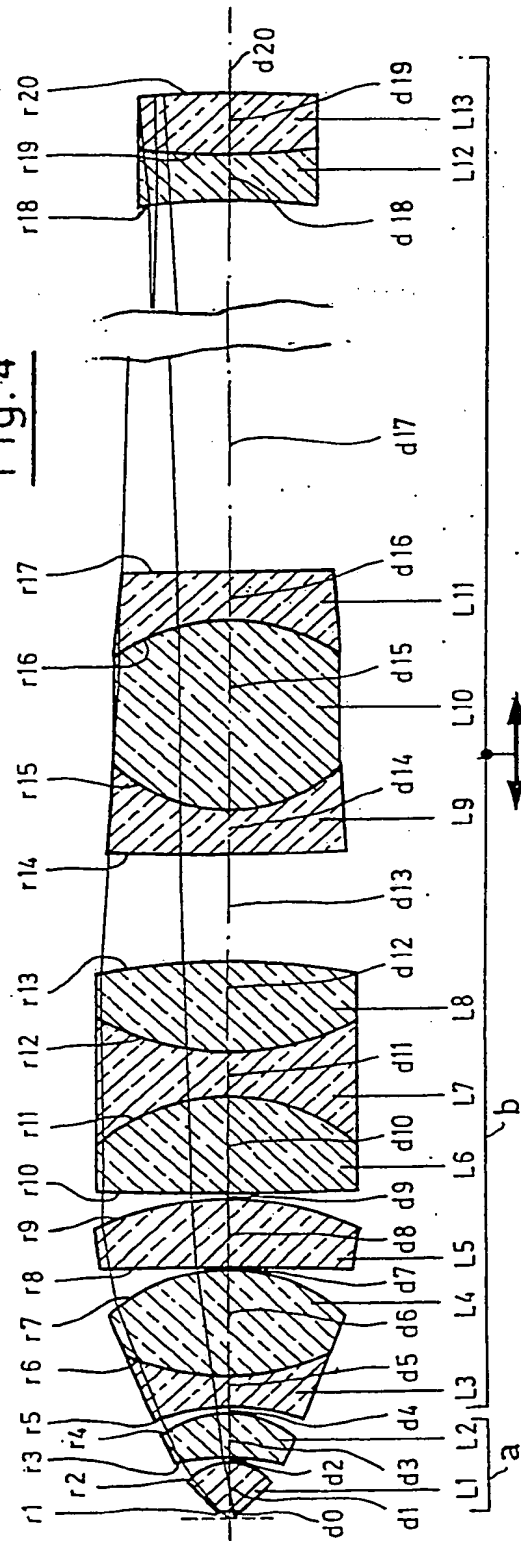
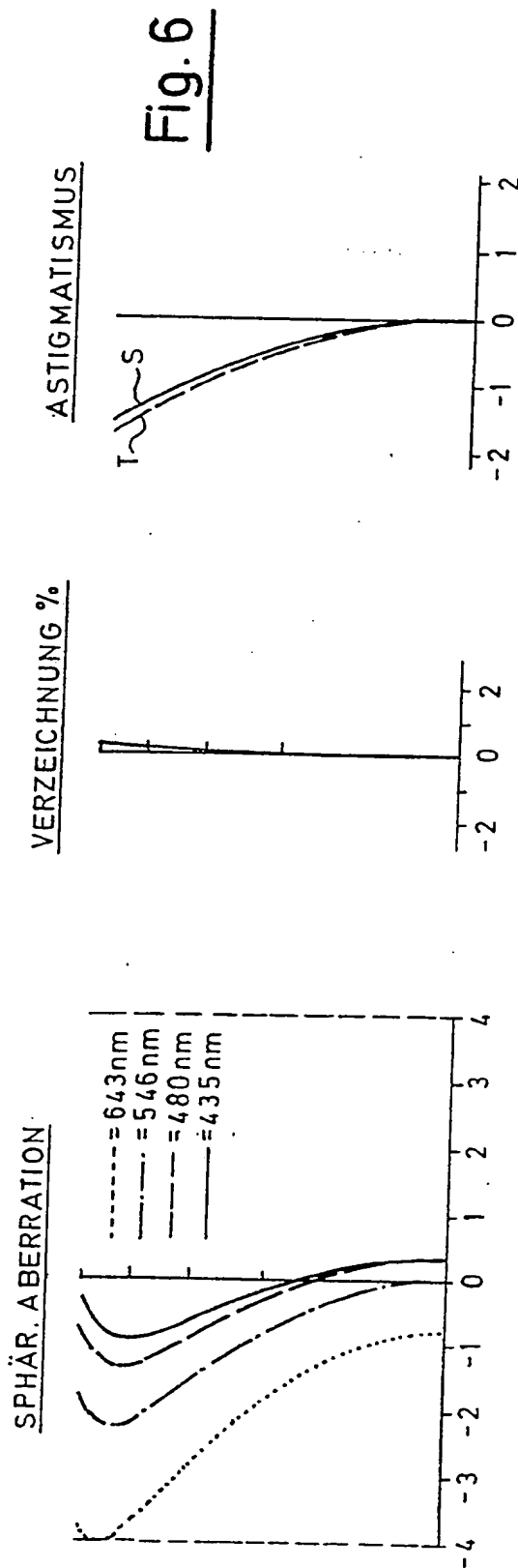
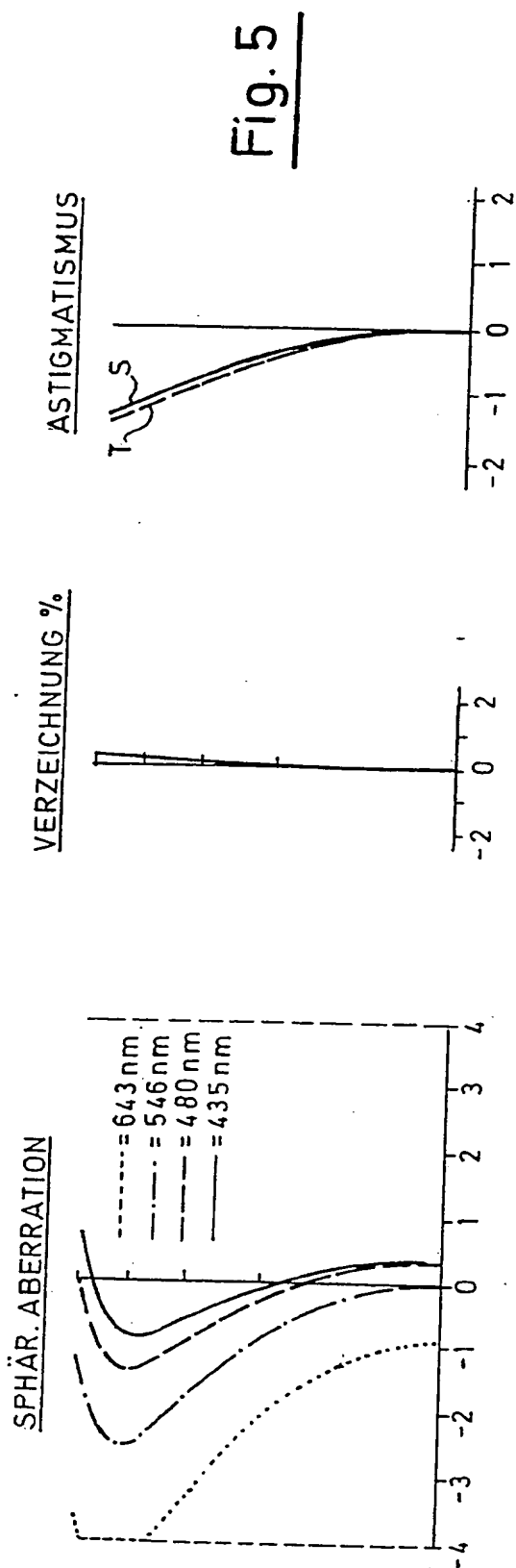


Fig. 4

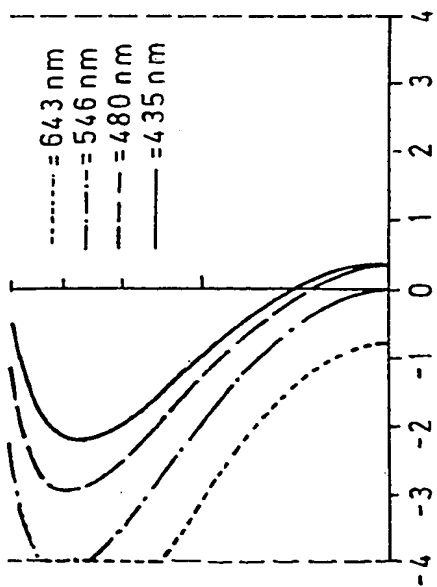
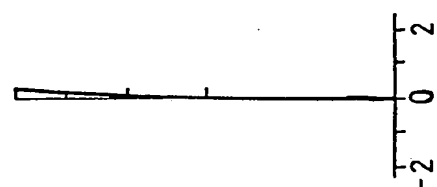
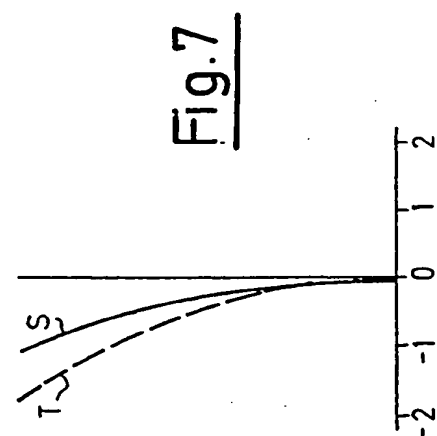




ASTIGMATISMUS

VERZEICHNUNG %

SPHÄR. ABERRATION



ASTIGMATISMUS

VERZEICHNUNG %

SPHÄR. ABERRATION

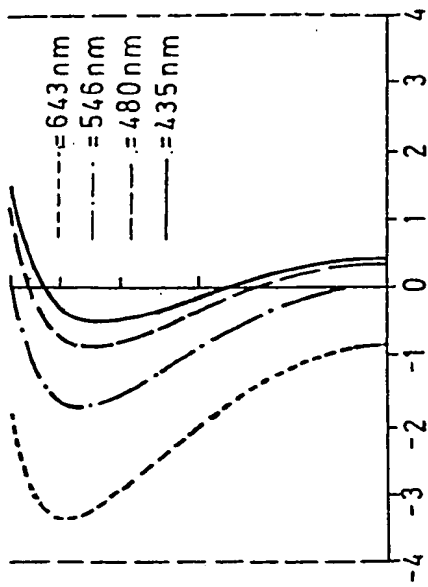
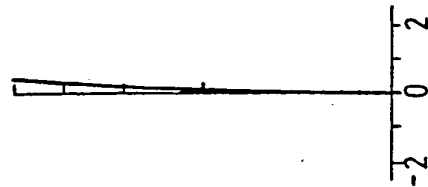
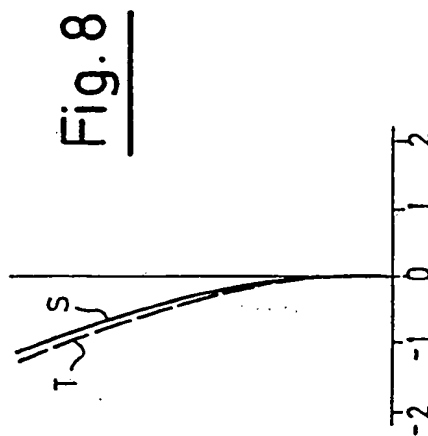


Fig. 9

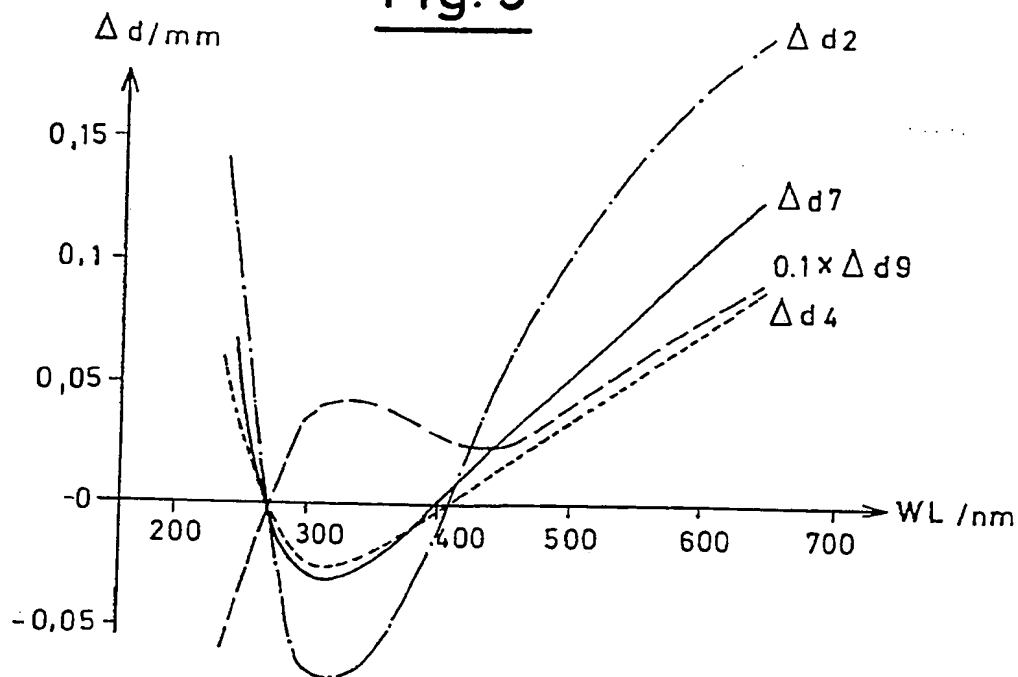


Fig. 10

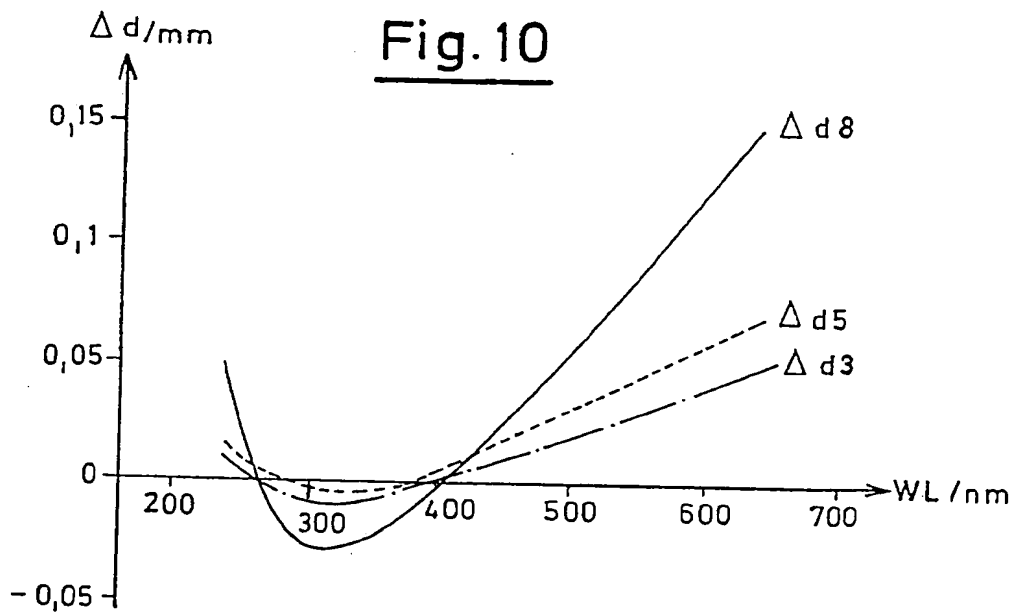




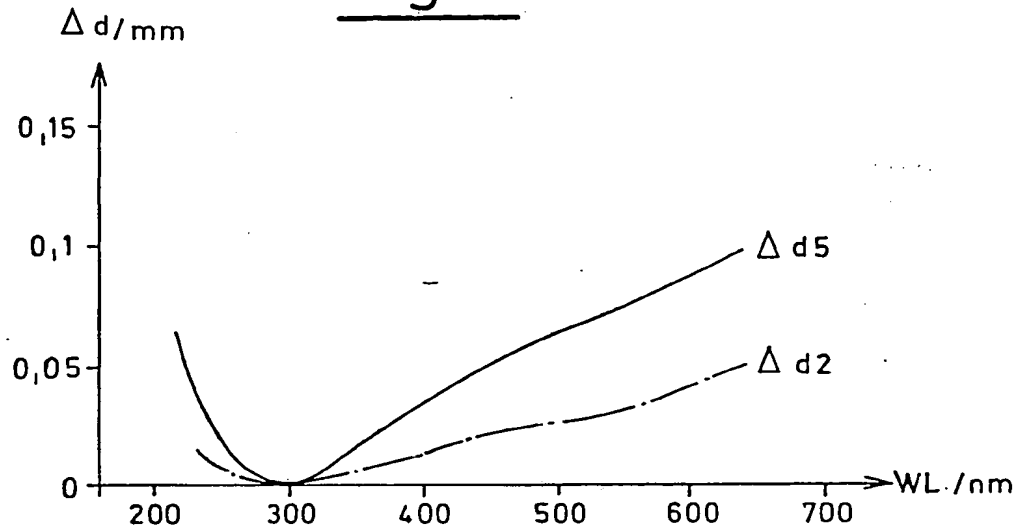
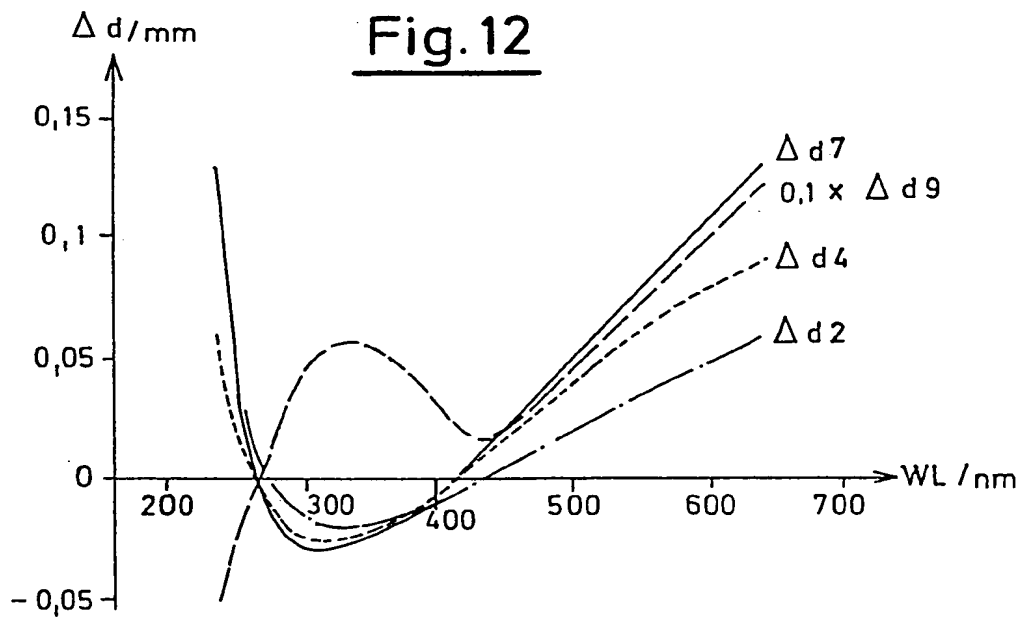
Fig. 11Fig. 12

Fig. 13

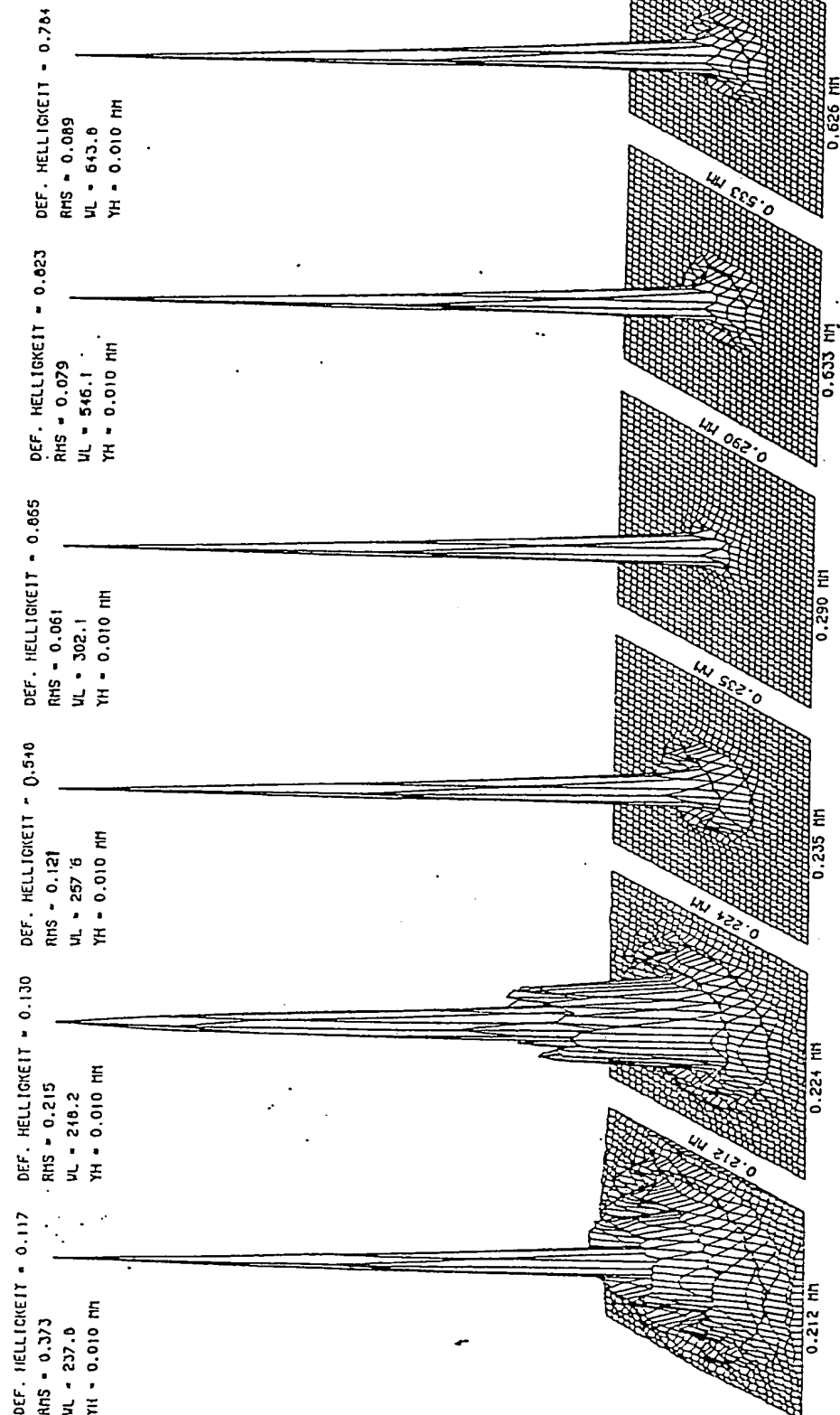


Fig. 14

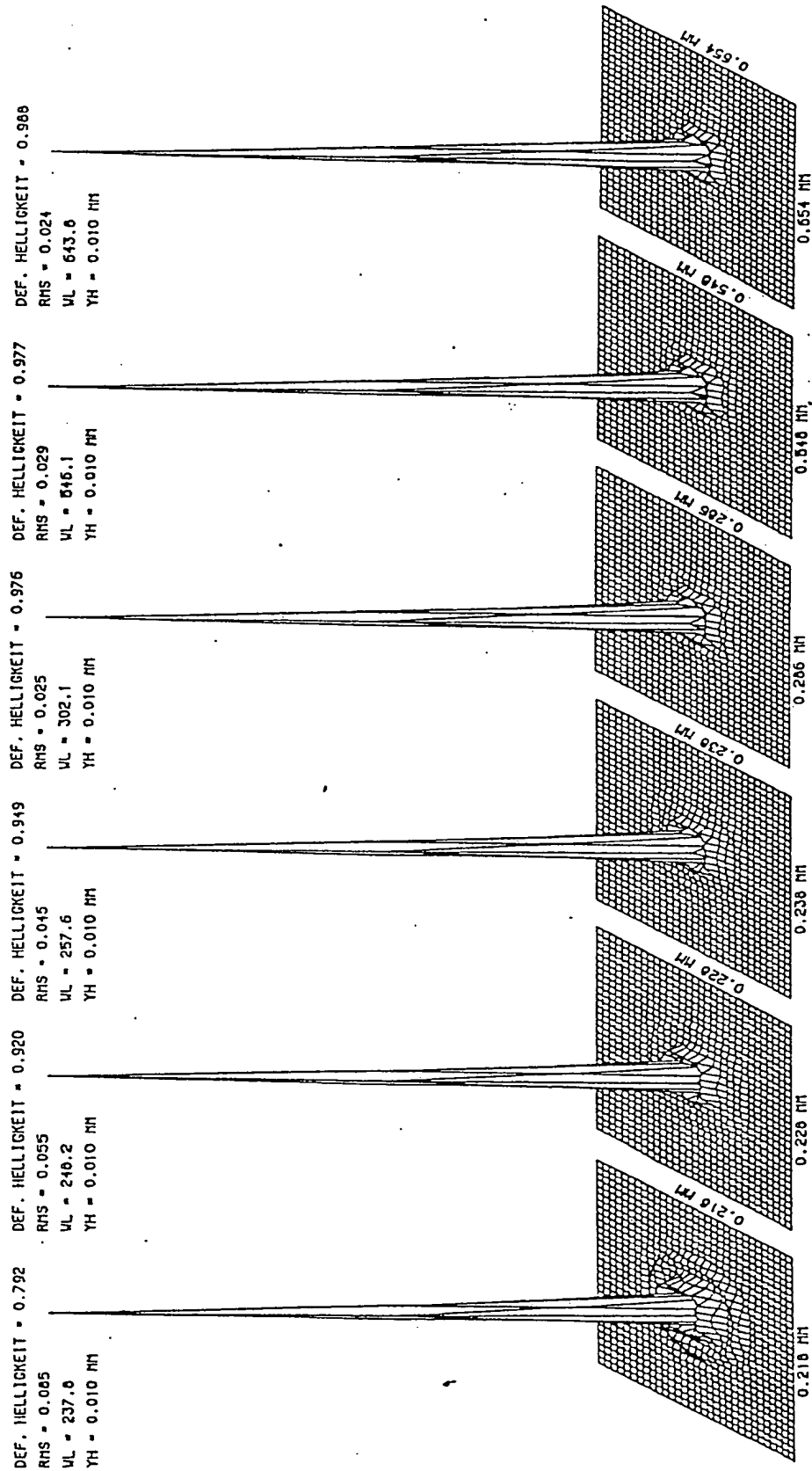


Fig. 15

